

核能簡訊 89

雙月刊

核能簡訊



核能簡訊雙月刊
第 89 期
七月二十日出刊

出版單位／中華民國核能學會
財團法人核能資訊中心
地　　址／新竹市光復路二段一〇一號
研發大樓一樓
電　　話／(03) 5711808
傳　　真／(03) 5725461
網　　址／http://www.ess.nthu.edu.tw/~nicenter
E-mail／nic@nicenter.twmail.net
發 行 人／朱鐵吉
編輯委員／翁寶山、鄭安弘、林　英、林明雄
劉宏基、江祥輝、許志模、開執中
謝灜春、丁　幹、閻中原、李三剛
劉仁賢
主　　編／喻冀平
文　　編／鍾玉娟、翁明琪
美　　編／孫秀琴
編 印 者／信誠廣告事業有限公司
地　　址／台北市基隆路二段23號7樓之6

行政院新聞局出版事業登記號
局版臺誌字第 851 號
中華郵政中台字第 0797 號
執照登記為雜誌交寄

編者的話

本期很難得邀請到國立清華大學原子科學系鍾堅教授撰寫他到越南參訪核能電廠的文章。越南自產的初級能源相當豐沛，以石化燃料為主。但是，隨著經濟快速成長，隨之而來的用電需求遽增、供需不平衡、用電普及率低，以及電價偏高等因素，促使越南選擇核能發電補充電力缺口，成為國際間新興的核能發電國家。

原子能在民生應用方面以核子醫學最為顯著。台北榮民總醫院核醫部劉仁賢主任為文介紹「正子斷層掃瞄」，詳細說明正子放射同位素藥物、掃瞄檢查流程、影像分析與處理等，這些都是腫瘤、心臟病及精神疾病在臨床上非常重要的診斷工具。

此外，在農業生產方面，原子能科技也扮演非常重要的角色。聯合國糧食及農業組織與國際原子能總署共同合作，藉由發展及採納原子能科技，致力於土壤、水資源與作物的養分管理，以及昆蟲與害蟲的控制，並改進農作物的生產技術。原子能除了核能發電之外，之於民生、經濟存有如此眾多又重大的助益，極具發展價值。



國 內 新 聞

◆ 在北海岸鄰近核一、二廠等4個鄉鎮的強烈抗議下，原子能委員會主委歐陽敏盛昨日宣布，將針對居住在各核能電廠緊急應變計畫區內（以核能電廠為中心，方圓5公里的範圍）民眾全面發放碘片。萬一核電廠有放射性物質外洩，附近民眾可自行服用碘片，避免吸入放射性物質而受到輻射傷害。

這項措施是我國推動核子事故緊急應變計畫廿年以來，最重大的突破性作法。歐陽敏盛強調，此舉直接將核能電廠附近民眾，拉進核安整備計畫內，讓居民對政府的緊急應變能力更有信心。但碘片（碘化鉀）仍被衛生署列為處方用藥，原能會在沒有醫師開立處方箋的情形下，直接將碘片發放給核能電廠附近民眾，是否與衛生署相關法令有所牴觸，仍有爭議。

（93.06.11.中國時報）

◆ 核一廠預定10日凌晨進行的低放射性廢棄物外運工作，因受到金山鄉民的徹夜阻擋而被迫暫停，裝滿18只貨櫃，重達50多噸的低放射性廢棄物，目前原封不動留在廠區，至於何時外運、是否外運？台電尚未決定。

台電石門核一廠副廠長林德福相當無奈，他說，輸運工作受阻，18個貨櫃的低放射性廢棄物，載運到核二廠「減容」，方便貯存。但為了和諧，只好暫停運送，待主導的台電後端處，與民眾溝通與協調後，視情況而定。

（93.06.11.中國時報）

◆民進黨政府將反核列入黨綱，但內部開始出現擁核主張。總統府資政邱連輝接受台灣省諮議會口述歷史訪談，倡言「我愛核能」，內容最近由台電員工透過電子郵件在公司內部傳閱，成為核能界熱門話題。台電計畫在最新一期「核能月刊」全文刊載訪談內容。

邱連輝說，他過去也反核。美麗島事件當晚，他在高雄大港埔演講，就是談核能發電的問題。那晚，世界人權協會把他的演講全程錄影，想了解台灣黨外人士對核能的看法。在民進黨還沒有成立前，他就是黨外的反核健將，也是非核家園理念的先行者。但「自從我去日本東海岸敦賀實地考察核電廠後，對核電廠的看法有很大轉變，轉而支持核電廠的興建。只要有完善的管理制度和訓練有素的實務人才，我們就不必擔心電廠會出事。」

（93.06.17.中國時報）

國 外 新 聞

◎美國財團提出新反應器執照計畫

在美國，由公用電力公司與其供應商共同組成的兩家集團都已經宣布，他們將向美國能源部尋求資金上的補助，以便進行在美國興建並營運新反應器的複合執照（COL）申請作業。

其中一個業界聯盟是紐斯達（NuStart）能源發展公司，它由6家主要的電力公司以及西屋、奇異和法國電力國際（EdF International）所組成。這個集團的目標是在西屋的AP 1000型與奇異的歐洲簡化型沸



水式反應器技術（ESBWR）之間擇一。另一個業界集團是由多明尼恩（Dominion）電力公司所主導，並有加拿大原子能公司配合，它的目標是使用加拿大的AECL ACR-700型反應器。

美國能源部在去年要求各界提出計畫案，加入其「核能2010」計畫中，並表示獲選者的COL申請案，將由該部出資負擔提出申請所需的一半經費。三家相關的電力公司已經提出早期場址許可（ESP）的申請，將在3個不同的場址興建新的核能電廠（反應器型號未定）。興建運轉複合執照的準備工作可以讓業者進行工程方面的工作，並且有助於估算詳細的成本。兩個集團顯然都準備在6-7年裡花上5000萬美金，這並不包含由核能設備供應商所負擔的設計認證與工程成本。紐斯達8億美元，而多明尼恩集團估計要花5億美元。能源部可望會分攤兩個計畫案的一半成本。

◎ 美國公司考慮興建新反應器

數家公司日前共同向美國能源部提出計畫，希望能夠得到資金上的協助，讓他們針對在阿拉巴馬州的貝拉豐提（Bellefonte）興建新的進步型沸水反應器一事進行可行性研究。田納西河管理局（TVA）的場址上目前有兩座大型的壓水式反應器機組，它們在花了25億美元，其中一號機組並完成了88%之後，於1988年宣布停建。這座計畫中裝置容量1350百萬瓦的進步型沸水反應器，是第三代反應器設計中第一個服役的，目前在日本有一系列的機組正在運轉或興建當中。在美國，它也已經取得了設計認證。這個計畫的共同發起人包括東芝、奇異、貝泰（Bechtel）、美國濃縮公司以及TVA，它同時也是美國能源部正在考慮資助的第三個案子。

◎ 瑞典肯定擁核的觀點

瑞典最近進行的一項民調顯示，多數該國公民仍然繼續支持核能發電，占受訪者的80%。不過，支持進一步發展核能（而非僅取代現有的核子反應器）的比例，比起2001年時成長了一倍，達到21%，而認為環保上最優先議題是淘汰核能的民眾，較起1998年的民調，數字下降了一半，只剩7%。與此同時，瑞典政府所指定的協商者表示，他沒有辦法完成任何有關關閉巴塞貝克（Barseback）2號反應器的協議（就更別提別的反應器了）。巴塞貝克2號反應器是瑞典當局當年為了拉攏少數黨以維持聯合內閣所推行的備受質疑的「廢核政策」的象徵。瑞典全國的發電量有一半仰賴核能。

◎ 歐洲重要的地層處置研究

歐盟執委會日前簽署了一項法案，將支持一個放射性廢棄物處置計畫，以示範高放射性廢棄物地層處置場的建造、營運以及關閉上的技術可行性。這項計畫名為「處置場設計之工程研究與示範計畫」（ESDRED），將興建一座業界級的原型處置場並營運5年，預計投入經費1800萬歐元。

這項歐盟計畫，有來自西歐9國的13個組織共同參與，並由法國的Andra負責協調工作。其他的參與者包括ENRESA（西班牙）、Nagra（瑞士）、Nirex（英國）、Posiva（芬蘭）以及SKB（瑞典）——全都是各國國內負責放射性廢棄物計畫的相關單位。SKB臨近於Oskarshamn的Aspo硬岩實驗室將會是整個研究計畫裡的關鍵部分。

這個計畫和同由歐盟資助、在1月時展開的另一個計畫起了互補的作用。該計畫由以瑞士爲基地的ARIUS和斯洛伐克的DECOM所主持，主要是針對地區性廢棄物貯存場的技術與法律問題進行先期研究。這個名爲SAPIERR的計畫主要是爲了因應那些有較小型的核能活動的國家的需要，共有14國21個組織與此相關。

◎ 日本進一步批准新反應器

在因爲場址問題而造成些許延宕之後，敦賀核能電廠3號與4號機組終於在日前得到了福井縣政府的許可，目前日本原子力公司正在尋求取得政府的興建許可。這兩座機組將會是最先興建的進步型壓水式反應器。這款容量1538百萬瓦的進步型壓水式反應器設計，在過去4年裡，主要由三菱與西屋以及4家電力公司共同研發，並預料將成爲未來日本的壓水式反應器的基礎。日本政府批准這項計畫的過程可能要花上2年，而興建工程——預估將耗費7700億日圓——將於2007年展開，商業運轉則排在2014-15年之間。

日本的電力發展集團也已經申請在青森縣興建Ohma核電廠，它是一座容量1383百萬瓦的進步型沸水反應器，目前排定在2006年動土興建，並且在2012年服役。除了普賢（Fugen）的實驗性進步型熱能反應器（ATR）之外，它將會是日本第一座單獨使用結合了再循環鈽的混和氧化物（MOX）燃料的反應器。過去該集團也曾申請在Ohma興建一座更大的重水熱能示範反應器，不過該計畫在1995年已經放棄。

◎中國大陸與南韓投入核能製氫

中國大陸的清華大學正和南韓的原子能研究所（KAERI）合作，以開發一套核能製氫的系統。北京清華目前有一套高溫反應器（HTR）計畫，其核能與新科技研究所並且擁有、運轉一座HTR-10型反應器——一部小型的高溫礫石床氣冷式反應器。這部反應器在2000年啓用，並在2003年時達到全功率運轉。這部反應器最後將連接上一具蒸汽渦輪機，不過北京清華目前正打算在2006年興建一座規模更大的相似機組——容量爲150百萬瓦的HTR-PM型。在初期，這部機組還是用來推動一具蒸汽循環渦輪機，但它們眞正的目的，乃在於研究利用此型高溫反應器來製造氫的可行性，這也正是KAERI加入的主因。

在南韓，KAERI也在一項反應器的提案中加入了以HTR爲基礎的氫氣製程。這部反應器的提案曾經向第四代國際論壇提出（該論壇是思考2020年以後所使用的反應器設計的組織）。其基本提案曾經獲得韓國政府將近10億美元的資助，並且還投入更多金錢供其進行製氫的研究，它使用的是日本所研發中來的傳統的碘化硫熱化學製程。KAERI預計在2019年時，將會有一座容量300百萬瓦、耗資10億美元的先導模組，以每年3000噸的產能來生產氫氣。

◎ 加拿大：加國新反應器的進程

由於大西洋兩岸的政府與電力公司都有意更新並擴大現有的核能容量，因此加拿大的進步型加拿大反應器（ACR-700）型反應器的前景似乎愈見光明。ACR-700反應器是從夙具聲名的加拿大重水鈾反應器（Candu-6）型反應器發展而來的，過去在加拿大原子能公司（AECL）的主導下，於加拿大、



中國、南韓、羅馬尼亞與阿根廷等地廣爲興建。

ACR型反應器仍保留了前代機種以重水作緩和的特性，不過在冷卻系統上改以輕水作冷卻劑；爐心尺寸大爲縮小，使用的鈾濃度也較低，不過運轉時產生的溫度卻更高。它也使用了好幾種被動式安全特性。反應器機組將預先做好模組，再加以組裝，所需的興建時間是3年。它的興建經費遠比Candu-6型低，不過最近幾座Candu-6型反應器的興建成本都已經低於原先預算，而且還工程超前。

ACR反應器目前正在向加拿大、美國，乃至於英國政府申請設計認證。在美國，它的設計認證申請將在2005年提出，同時還等著提出「興建與運轉複合執照」（COL）的申請。這兩個申請案預計都可能在2008年通過，而加拿大方面的認證可能稍早於此就得到批准。據此，AECL預計這款反應器會在2012年在加拿大開始運轉，而美國方面的運轉日期則是2013年。

有了好幾個在亞洲的成功興建的例子作基礎，AECL預計首部機組的興建成本將會是每千瓦1255美元，後續機組的成本則爲每千瓦1110美元。ACR型反應器是雙機組的設計，其興建時間爲首部機組44個月，隨後遞減，到第5部機組以後則爲36個月。這正是AECL有信心提供買主固定價格合約的主因。

AECL目前正在發展容量更大的同型反應器——ACR-1000型。此外，該公司也已經在ACR的基礎上著手規畫一款可謂超臨界的新反應器，Candu-X。這款反應器預計到2020年時才會發展完成。

◎ 全球核能展望

美國的能源資訊局每年都會出版「國際能源展望」（IEO）的預測。在其2004年的IEO裡，有關核能的前景，有著比過去更清晰的景象。在其參考情況裡，全球所需要的電力，從2001年到2025年幾乎倍增，也就是達到230,000億度。在開發中國家，其用電成長率是每年3.5%。

核能發電所占的比例，預期將一路增加，直到2020年，這個預測數字比過去做的預估要強勁許多，主要是因爲更高的容量利用率、更長的電廠運轉壽命以及日漸高漲的天然氣價格所致。核電成長最多的地區預計將會是開發中國家，特別是亞洲地區，其平均速率是每年成長4.1%。

◎ 追加議定書擴大IAEA的保防

在4月30日，保防協定的追加議定書在歐盟15個國家正式生效。這15國包括了英國、法國，以及13個並未擁有核武的歐盟會員國，它們全都在1998年就簽署了這份議定書。這份議定書在5月1日要加入歐盟的10個國家的7國已經生效。這使得全球共有57個國家（加上台灣）接納了這個協議，因此使得IAEA檢查團得以提升其調查全球核子擴散的能力。全球共有71個國家具有大型核子活動，但目前仍有25國沒有接納這份追加議定書——雖然有些國家已經在進行相關程序。

（以上新聞譯自澳洲UIC。因本刊篇幅有限，部分國外新聞將在網站中刊登，網址：http://ess.nthu.edu.tw/~nicenter）



越南邁向核能發電紀元

鍾堅

今年（2004）5月27日，越南副總理與法國經工部司長簽署「越法核能和平用途合作協定」，協定中由法國在越中海岸協建越南第一座核能電廠，總裝置容量爲400萬瓩，預定公元2020年時第一部百萬瓩核能機組臨界併網發電，解決越南的缺電荒。協定中也議定，法國將全力協助越南建立核能和平用途（特別是在核安與輻防領域）的研發潛能。

有別於國人對越戰戰後百業蕭條的刻板印象，每週79航班往返台越間的客機內，除了塞滿越勞、越傭與台灣觀光團、相親團外，愈來愈多的商務旅客，忙著穿梭往返於台越兩地間。事實上，投入越南的外資，向來以台資爲最大宗，其中的主流，是以中小企業業主的投資，最近三年台商總投資額就高達60億美元。

回顧越南的歷史，基本上就是一部戰爭史。越南古稱文郎、安南、大瞿越，曾爲我國藩屬近千年，後遭法國殖民、日本侵占、國土分裂及越戰。直到1975年南北越統一，接著又與高棉、中共在邊境鏖戰。1990年代，越南方步入「和平時期」，政策上採「政左經右」朝改革開放大步邁進。

越南係社會主義共產國家，「越南共產黨」一黨專政，目前國家主席爲陳德良（兼越共總書記），總理爲潘文凱。越南地大物博人也多，人口8千2百萬（人口密度是台灣的40%），但國民年均所得僅有每人每年430美元（2002年，只有我國的3%）。儘管越南改革開放十年有成，惟國民教育品質低落，工商業仍處於低層次勞力密集傳統產業爲主的過渡時期，25%的失業率居高不下，也導致勞務輸出爲特有的景象。以台灣爲例，上年度在台的越勞有3萬4千人，越籍新娘更多達3萬8千人。



作者與越南原子能革命委員會副主席攝於大叻核反應器前。

越南自產的初級能源十分豐沛。以石化燃料爲例，已證實具可採經濟價值的油藏有6億桶，目前每天油田出油量爲34萬桶，除19萬桶供內耗（我國每天耗油高達百萬桶，全賴進口）外，餘供外銷。天然氣已證實可採經濟價值的儲量爲6.8兆立方呎，2001年全年越南的氣井出氣0.046兆立方呎，全供內耗（我國該年天然氣耗用0.234兆立方呎，89%賴進口）。越南已證實具可採經濟價值的煤炭儲量爲1.65億短噸，2001年全年煤田生



作者與越南大叻核反應器主任攝於VVRM-2控制室。

產0.11億短噸，其中2/3供內耗（同年度我國耗用0.53億短噸，全賴進口），餘皆外銷。由此觀之，除了天然氣尚可使用百年且可外銷，餘皆在未來10年內耗盡。

由於特殊的地理環境，越南的水力發電均集中在水資源充沛的北越，靠近奠邊府的和平水力發電廠是「越南電力革命委員會」最大的發電廠。越南全國當前的系統裝置容量為500萬瓩，2001年全年發電量為300億度電，其中水力發電的配比高達56.4%，餘皆為火力發電，且集中在鄰近南越地勢平坦油、氣田的湄公河三角洲地帶。

越南邁向核能發電的原因有五：（一）、缺電。儘管每年7%的快速經濟成長率導致法國、英國、日本、南韓、荷蘭等國紛紛以BOT（外資興建－外資營運－移編越南）方式協建大批的水力、火力電廠，但仍趕不上經改步調。預判公元2015年全年缺電80億度，2020年全年缺口擴大到360億度。（二）、供需不平衡。越北有大型水力發電廠，需電孔急的卻是1,500公里外的胡志明市，造成「北電南送」的窘境（與台灣正好相反）。（三）、越中沒電。地形狹窄的越中（宜安至歸仁近600公里），既缺水力資源，也缺煤田，故而成為核能電廠的首選位置。（四）、用電普及率低。越南大城市如河內、胡志明市用電雖然無虞，然偏遠山區及越中近半的全國人口竟然沒電可用，故而除了越中蓋核能電廠外，更要全國供電聯網方能奏效。（五）、攤平電價。外資BOT的發電廠，為達成投資報酬效益，電價訂為每度電相當於1.4元新台幣，廉價的核能發電，可攤平現有的高電價。

越南邁向核能發電亦是「有備而來」。越南在越戰戰後，除了首府河內越共黨中央下設有「越南原子能革命委員會」及越南政府有「國家原子能委員會」（兩者為同一批人馬，以黨領政有兩塊招牌），首府河內另設有附屬「核能科技研究所」及「放射性及稀有元素技術所」；在南方中央高原的大叻設有「大叻核能研究院」（內有VVRM-2美製俄裝0.5百萬瓦熱功率的研究用核反應器，中子通率有2.1×10^{13}中子/平方公分·秒）及胡志明市的「放射技術研發中心」與「原子能研發推廣中心」，建構核能工業越南顯然已初具規模。

在國內反核廢核聲浪高漲之際，台灣四鄰如日、韓、大陸均信心滿滿持續發展核能發電，連新興開發中的鄰邦越南也邁向核電，深值吾人自省。對越南核能發展有興趣的讀者可自行上網查詢：http://www.vaec.gov.vn。

（本文作者為國立清華大學原子科學系教授）

正子斷層掃描

劉仁賢

正子斷層掃描（positron emission tomography, 以下簡稱PET）問世於1970年代，開始時主要以研究爲主，近五年來，由於正子掃描儀性能及PET檢查藥物的供應大幅改善，快速累積的臨床經驗證實PET在腫瘤、心臟病及神經精神疾病的診斷，具有突破性的意義，已逐漸成爲臨床上一個重要的診斷工具。

正子斷層掃描

正子是一種帶正電荷的電子，是由正子放射同位素的衰變而產生的。正子同位素藥物經靜脈注射入人體後，衰變產生的正子在體組織中運行不到1毫米的距離，即與帶負電荷的電子撞擊而發生互毀作用，產生一對能量爲511 keV，方向相反的加馬射線。正子斷層掃描儀可同時偵測這些成對的加馬射線，利用電腦重組正子同位素在組織或器官內分布的圖像（圖1）。由於PET是以偶合的方式偵測成對的加馬射線，不需準直儀，因此PET的解析度及靈敏度都比一般核醫造影用的加馬閃爍攝影機爲高。目前較新的PET可以達到4至5毫米的高解析度。

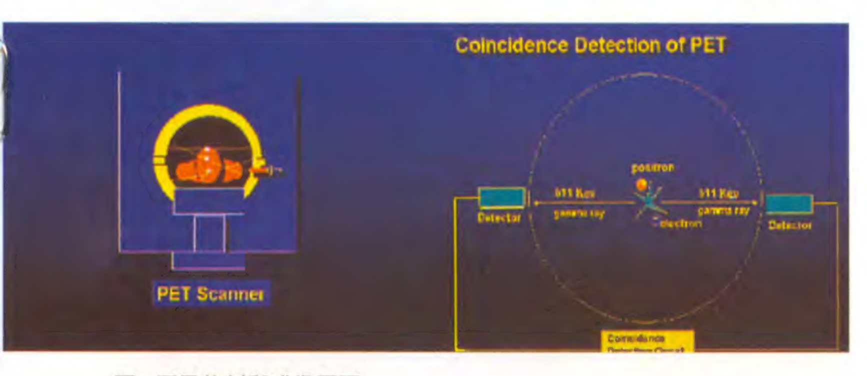


圖1.正子放射與成像原理

正子放射同位素藥物

主要的正子放射同位素有氧-15（^{15}O）、氮-13（^{13}N）、碳-11（^{11}C）及氟-18（^{18}F），這些同位素可合成許多體內存在或需要的代謝分子，如葡萄糖、胺基酸等，可作爲研究探討人體正常或病態的代謝功能。目前在臨床上最常使用的正子同位素藥物是[^{18}F]去氧葡萄糖（[^{18}F]2-fluoro-2-deoxy-D-glucose, 簡稱FDG）。上述四種短半衰期的正子同位素是經由迴旋加速器製造出來的，因半衰期短，因此正子斷層掃描設備通常都設置在迴旋加速器附近，方便取得檢查用藥。

PET中心的組成

迴旋加速器

PET檢查常用的正子同位素^{15}O的半衰期只有2分鐘，最長的^{18}F也不過2小時，必需設置迴旋加速器現產現用正子同位素。不過因臨床PET主要使用[^{18}F]-FDG，半衰期較長，可由設置在PET中心附近的迴旋加速器提供，節省了不少成本。目前國內外大部分的臨床PET中心，都是採用這種營運方式（圖2）。

放射化學實驗室

放射化學實驗是負責將正子同位素合成各種代謝分子或藥



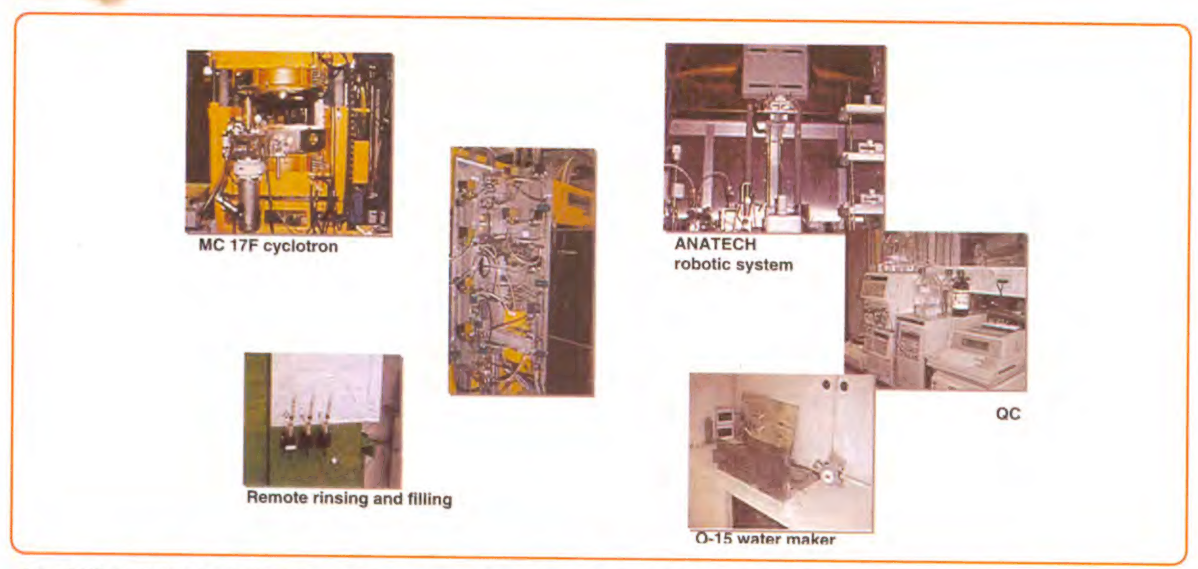


圖2.製造正子放射同位素藥物需要迴旋加速器（cyclotron）及放射化學合成設備。

物，並符合相關核醫藥物品管條件，提供人體PET檢查使用。常用的正子同位素藥物，如FDG、[^{13}N]ammonia，泰半以俗稱黑盒子的自動化合成盒製造。

PET掃描儀

目前大部分PET中心使用的PET都是使用BGO晶體的全環狀或部分環狀探頭，斷層影像品質佳（圖3）。少數醫院因經費的問題，採用可作偶合斷層造影的單光子斷層攝影機（SPECT），解析度及靈敏度都不如PET，診斷效果較差。

影像資料處理

PET掃描影像資料需要作精密的電腦處理。雖然目前新的PET均內建影像處理電腦，但整個PET中心仍需有完整的電腦工作站網路，執行線外資料處理、報告及資料檔案管理。

工作人員

一個完整的PET中心的工作人員，通常包括：迴旋加速器操作人員、放射化學師、醫學物理師、核醫放射師、電腦人員及核醫專科醫師。一個以臨床服務為主的PET中心，正子同位素藥物外購使用，工作人員則可簡化至以核醫放射師及醫師為主力。

常用的PET掃描正子同位素藥物

[^{18}F]FDG（氟-18去氧葡萄糖）

FDG是PET檢查最常使用的藥物。惡性腫瘤的葡萄糖代謝率高，FDG的攝取較正常組織為高，是極佳的腫瘤造影劑。氟-18的半衰期約2小時，通常在注射FDG 30至45分鐘後，開始PET掃描，全身檢查約1小時左右。此外，FDG另可應用於缺氧心肌存活性的評估，癡呆症的鑑別診斷及癲癇病灶的偵測等。

[^{15}O]H_2O（氧-15-水）

[^{15}O]水主要用來測定組織器官的血流或血流灌注，^{15}O的半衰期只有2分鐘，PET中心欲做血流測定或血流灌注測定，必需設置一迴旋加速器，隨製隨用，主要用途為腦血



流及血流灌注評估。

[^{13}N]ammonia（氮-13-氨，簡寫為[^{13}N]NH_3）

[^{13}N]NH_3是檢查冠心疾心肌血流灌注最主要的正子同位素，半衰期20分鐘。診斷心肌缺氧需注射心血管擴張劑（例如：dipyridamole），突顯狹窄與正常冠動脈血流灌注的差異，再比較休息狀態所做的心肌血流灌注圖。如發現血管擴張時呈現心肌灌注缺損，休息時心肌血流灌注正常，則缺損區即爲心肌缺氧區；如休息時也呈現血流灌注缺損，則缺損區代表心肌壞死或即嚴重的心肌缺氧，可再進行FDG代謝檢查，評估心肌存活的機會。

PET掃描檢查流程

FDG全身掃描

FDG全身掃描主要用於腫瘤檢查。應檢前病患應禁食至少6小時，血糖不要超過120 mg/dl。約5至10毫居里（mCi）的FDG經靜脈注射後，受檢者應靜躺休息45分鐘，以便FDG在腫瘤內能充分聚積，在正常組織中能充分排除，並經由腎臟、膀胱排泄，45分時間到，解完尿後，即可躺上掃描台，進行檢查。一般自頭部掃描至大腿上1/3約需1小時。爲減少體組織對加馬射線減弱效應的影響，通常會以Ge-68射源另作穿透掃描，校正組織減弱效應，需另加約15至30分鐘檢查時間 。掃描完畢，即可進行斷層影像重組與分析。如有需要，可測定病灶對FDG的吸收率，如：標準攝取值（SUV）。爲針對特定器官的病灶（如肺腫塊）作良惡性鑑別診斷，可另加作局部掃描，檢查時間約20分鐘。



圖3.新式高解析度正子斷層攝影機。

腦代謝功能FDG PET檢查

受檢者亦需禁食6小時以上，注射5至10毫居里的FDG前先測定血糖，如未達120 mg/dl ，給予100毫升50%葡萄糖水，30分鐘後再注射FDG。受檢者經注射FDG後，應靜躺於安靜、幽暗的檢查室內45分鐘，再進行腦部掃描。穿透掃描可於FDG掃描前或後進行，檢查時間約30分鐘。糖尿病患，空腹血糖超過200 mg/dl，應先控制好血糖後再作PET檢查。血糖低於200mg/dl者，應檢當天可另給予5個單位的胰島素，促進FDG的吸收。

心臟血流灌注與代謝檢查

如病患已做過核醫Tl-201或Tc-99 MIBI心肌血流灌注檢查，發現無法恢復的心肌血流灌注缺損，



可直接作FDG代謝檢查，鑑別心肌是否存活，檢查程序如上述腦代謝功能掃描。如未作過核醫心臟檢查，則應選擇心臟血流灌注與代謝檢查的套組。

病患檢查前須禁食6小時以上，首先作休息狀態的心肌血流灌注PET掃描，病患接受靜脈注射約15毫居里的^{13}N-NH_3後進行心臟掃描及穿透掃描；等一階段掃描完畢後，接著靜脈注射冠狀血管擴張劑（通常是dipyridamole）與第二劑的^{13}N-NH_3，再作一次心臟掃描，比較此二次掃描，即可得知心肌血流灌注是否異常。第二階段掃描完畢後，給予口服100毫升50%葡萄糖水，30分鐘後注射5-10毫居里FDG，45分鐘後掃描，整套檢查時間約2小時30分。如果心臟血流灌注^{13}N-NH_3 PET掃描出現灌注異常，表示局部心肌血流減少。FDG檢查出現代謝降低的現象，表示此局部的心肌泰半壞死結疤，即使作血管汽球擴張或冠狀動脈繞道手術，亦無法改善心臟的功能。如果FDG檢查發現血流灌注減少的地區，仍有代謝活性甚至活性增加，表示心肌缺氧，心肌細胞尚存活，進行擴張術或繞道手術可以改善心臟功能。

PET影像分析與影像處理

PET影像資料如配合動脈血中正子同位素藥物濃度資料以代謝模式加以運算，可求得單位組織代謝速率。例如：使用FDG可測得每單位組織每分鐘代謝多少分子的葡萄糖，使用^{15}O-水可測定每單位組織的血流、血量等。不過這些測定需連續抽取動脈血化驗，比較麻煩，只用於研究，較少用於臨床服務。臨床多採用標準攝取值（SUV）或簡單的病灶與正常組織放射活度比。由於PET影像主要提供代謝功能影像，判讀時可能需要電腦斷層（CT）或磁振造影（MRI）參考病灶及器官的相關位置。目視判讀是最常用的方法，但以影像融合方式將解剖結構影像與PET功能影像結合，更能精確地顯示出異常病灶的位置及代謝異常的程度。目前更有儀器廠將CT與PET結合， 可更方便快速地提供融合影像。

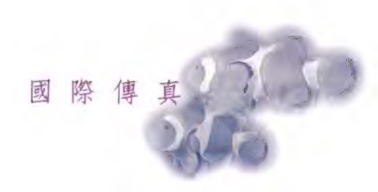
PET檢查的輻射劑量

以FDG爲例，一次檢查的輻射劑量約爲705毫侖目（mrem）用國際單位表示爲7.05毫西弗，^{15}O-水及 ^{13}N-NH_3更少，在150至250毫侖目（1.5-2.5毫西弗）之譜。此劑量大約相當於上腸胃道X光檢查（500-700毫侖目，即5-7毫西弗），比CT檢查（約在2000-4000毫侖目，即20-40毫西弗）爲少。因正子同位素半衰期短，所以輻射劑量相對較低，不會造成人體的傷害。

PET掃描的臨床應用

PET的臨床用途，在腫瘤方面，包括肺癌、大腸直腸癌、淋巴癌、黑色素癌、乳癌、頭頸癌、骨肌肉癌病、腦瘤、甲狀腺癌、卵巢癌、胰臟癌等癌病的診斷、臨床分期、療效評估及預後追蹤再評估。在心臟疾病方面，主要是診斷冠心疾，及評估心肌存活與接受血管擴張術或血管繞道術的可行性評估，及心臟功能恢復的預後評量。神經疾病方面主要應用於癲癇病灶診斷、癡呆症鑑別診斷及腦中風診斷與功能評估。目前美國醫療保險只給付部份項目，我國則尚未給付，需自費檢查，有待爭取健保給付，嘉惠民眾。

（本文作者為台北榮民總醫院核醫部主任）



國際原子能總署與聯合國糧食及農業組織合作計畫 改善農業生產力

洪國鈞譯

應將資源與技術投入非洲的發展

在1996年的世界糧食高峰會議（World Food Summit）決議，在2015年以前，要將世界營養缺乏的人口降低一半，然而嚴重的糧食危機仍持續性地存在於世界的許多地方。雖然現在比起過去生產了更多的糧食，但現今仍有8億人還處於長期慢性的營養不良當中。改善農業生產力是維持社會發展與經濟的原動力。當農業的發展停滯，喪失外來資源，這將會造成社會約束力的瓦解，其結果將使社會動盪不堪。

我們利用最新的技術：包含改良植物與動物的貯存、更佳的土壤與水資源管理，這些技術並不只是使用在與糧食危機的作戰當中，這些技術更需要被使用在更重要的地方，那就是：維持非生產性消費與供應作物及家畜生長的資源平衡。

聯合國糧食及農業組織（Food and Agriculture Organization，FAO）與國際原子能總署（International Atomic Energy Agency，IAEA）在糧食農業計畫（The Food and Agriculture Programme）中一同合作，藉由發展及採納原子能與相關生物科技，改善國家或國際層級上糧食的生產力，並持續性地確保與糧食相關的安全約束。藉由每年將近1000萬美金的預算，該計畫將協助會員國改善農業的生產力，而主要致力的方向在更佳的土壤、水資源與作物的養分管理以及昆蟲與害蟲的控制方面。

關於糧食農業計畫

- 土壤與水資源以及作物的養分管理；
- 植物的育種與遺傳；
- 動物的生產與衛生；
- 昆蟲與害蟲的控制；
- 食物的品質與安全。



土壤、水資源與養分管理

根據聯合國糧食及農業組織的估計，世界上超過40%的糧食依賴灌溉，然而灌溉水源並沒有好好地被利用，大量的水資源漏失在灌溉系統本身。不良的灌溉通常與土壤本身鹽性有關，世界上約有1/10的耕地遭到鹽害的破壞。而氣候的變遷更造成世界上越來越多的區域飽受乾旱與沙漠化的威脅。改善灌溉將會幫助並保護脆弱的耕地節約水資源。

穩定與放射性同位素可以用來作為分子層面上的「標籤」，以監測植物如何運用養分的精華。這樣的技術在特殊的情況下可以協助科學家精確地瞭解作物在養分與水分上的需求，便可能找出在該區域可持久的變種。

國際原子能總署使用原子能科技來改進作物的生產技術，尤其是在水資源十分缺乏的地區。透過糧食農業計畫中的土壤、水資源與作物的營養管理子計畫，國際原子能總署發展並轉移放射性同位素技術，並研究作物生長與養分需求以增加產量，以節約水資源並防止邊際土地進一步的惡化。

一個5年的技術合作計畫在西非的撒哈拉區域展開，相關的國家包含：布基那法索（Burkina Faso）、馬利（Mali）、尼日（Niger）與塞內加爾（Senegal）。目前有主要的三項對策正在進行中：維持農業機能並強化適合的耕地；邊際土地的轉變成合適的土地用途－減少與削除低產量牧場的過度放牧；以及回復惡化土地和生態系統。相關參與的國家均發展合適該國的特殊情況和需要國家的行動計畫。國際原子能總署提供技術上的諮詢與協助，並提供放射性同位素相關設備在水資源與養分的整合養分管理上。

透過技術合作計畫，國際原子能總署提供核子技術相關的訓練、專業服務、設備以及其他的協助予會員國。

在2001年，這項計畫已經花費了1,210萬美金在資助會員國在糧食與農業上的需求，事實上，在整個技術合作計畫當中，糧食與農業上的需求協助約占花費的35%。

以馬利為例，一個以氣候、施肥與不同植物間交互作用的3年研究計畫，其目的是為了瞭解在乾旱區中氮肥與農業生產力的最適化配比，在該研究計畫中，便使用了穩定同位素氮15（^{15}N）以標誌氮肥。類似的研究也在布基那法索與塞內加爾進行，當地的工作人員接受^{15}N同位素的相關技術訓練，以便他們進行豆類植物中氮的固定與增進穀類植物施肥效能的研究。

微灌溉系統與實肥－透過灌溉系統與肥料的應用－將幫助控制水分與養分集中在根部，以節省勞工與設備花費。該計畫由國際原子能總署主持，預定花費5年時間，目前已經得到西亞地區8個國家的參與，包含：伊朗（Iran）、約旦（Jordan）、黎巴嫩（Lebanon）、沙烏地阿拉伯（Saudi Arabia）、敘利亞（Syria）、土耳其（Turkey）、阿拉伯聯合大公國（United Arab Emirates）與葉門（Yemen）。在該計畫中，



同位素被使用以改善水資源與肥料的管理。截至目前的研究成果，新式方法與傳統方法在節省水資源與氮肥方面有著極大的改善。另一個在地中海區域研究計畫也發現類似系統將更有效率地節約水資源與氮肥，同時比較傳統的灌溉方法增加了更多的作物產能。

害蟲抑減與控制

害蟲對於農業的生產力是另一個嚴重的威脅，它們可以使耕地荒蕪同時散播疾病危害植物與家畜。即使使用殺蟲劑，害蟲對糧食生產力造成的損失保守的估計約在25%至35%之間。而殺蟲劑的使用更在環境上產生極大的負面影響，甚至會使昆蟲產生對殺蟲劑的抗藥性。透過昆蟲與害蟲控制計畫，國際原子能總署使用原子能科技發展對環境友善且能控制害蟲抑減的替代技術，其中，至今最成功的技術莫過於昆蟲節育技術（Sterile Insect Technique，SIT）。

SIT運用加馬射線使得大量培養的昆蟲不孕，這使得害蟲的繁衍受到限制。因爲這些不孕的昆蟲被釋放在環境當中與野生的雄性競爭交配，一段時間後，不孕的昆蟲雖會逐漸的減少，但蟲害卻也可以得到抑緩或控制到達成目標的昆蟲數目。

該技術已經成功用來根除一些害蟲在許多重要的農業作物上，其中一個知名的例子是地中海果蠅，該物種嚴重地危害超過250種水果與蔬菜。在墨西哥（Maxico）、智利（Chile）、以及瓜地馬拉（Guatemala）與美國部分區域的果蠅蟲災，利用SIT技術已經成功的根絕。目前該技術已經即將運用在阿根廷（Argentina）、祕魯（Peru）南部與中東。

采采蠅（Tsetse fly，或稱舌蠅）是散布睡病蟲（Trypansome）這類寄生蟲的傳媒，造成非洲酣睡症與家畜疾病Nagana。將非洲許多辛苦建立的耕地變爲無人居住的荒地。疫情開始侵襲非洲未經開發但最好的土地－即河谷與濕地這些具有成爲良田潛力的地區。此外，在非洲，超過50萬人罹患酣睡症，采采蠅造成的經濟損失每年高達40億美元。結合SIT與一般害蟲抑減與控制技術，桑吉亞（Zanzibar）在1997年從采采蠅的疫區除名，鑒於桑國防治采采蠅的成功，使得非洲團結組織（Organization of African Unity，OAU）於2001年與世界衛生組織（WHO）、聯合國糧食及農業組織與國際原子能總署，展開了泛非采采蠅與睡病蟲根絕活動（Pan African Tsetse and Trypansomosis Eradication Campaign，PATTEC ），並在37個「次撒哈拉非洲國家」與采采蠅搏鬥。

總而言之，基於現實面的考量，改善農業生產力是現今的重要課題，運用原子能科技將可以改善農業生產力，增加作物產量，並爲現在與未來節省寶貴的資源。

想了解更多國際原子能總署在相關計畫上的資訊，可參閱：
http://www.iaea.org/programmes/nafa/dx/index.html

（本文取材自International Atomic Energy Agency Information Series Devision of Public Information，02-01582 / FS Series 2 / 04 E）



洛代沃鈾礦（Lodeve）附近的橄欖樹，法國南部出產的精質的橄欖油幾個世紀以來均享有盛名。（法國COGEMA公司提供）